

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-250842

(43)Date of publication of application : 17.09.1999

(51)Int.Cl.

H01J 35/22

G01N 21/01

G01N 21/33

H05G 2/00

(21)Application number : 10-064256

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL
TOMIE TOSHIHISA

(22)Date of filing : 27.02.1998

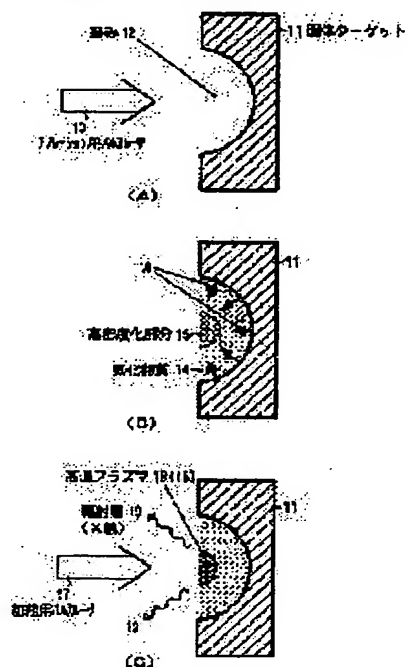
(72)Inventor : TOMIE TOSHIHISA

(54) LASER PLASMA LIGHT SOURCE AND RADIATION GENERATING METHOD USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To widen the selection width of material elements and to make high speed scanning of an X-ray source position by high speed deflection of laser beams possible by irradiating a ablation laser to a recess formed in a solid target to vaporize the inner wall part, and irradiating heated laser to a higher densified part.

SOLUTION: A semispherical recess 12 is formed in a solid target 11. A ablation laser is irradiated to the recess 12 to vaporize only the extreme surface part in the inner wall of the recess 12. The vaporized material 14 in the surface layer starts expansion to the vacuum side. The required minimum amount of the material is stripped off from the solid, then the temperature of the solid target 11 is lowered to the vaporizing temperature or lower. In other words, when the vaporized material is heated until a high temperature plasma is generated, radiation is emitted from the vaporized material. The vaporized material stripped off from the solid target 11 is moved to the central part of the space in the space in the recess 12, and a high densified part 15 is formed in the central part. A heating pulse laser 17 is irradiated to the high densified part 15 formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.03.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2897005

[Date of registration] 12.03.1999

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In order to make the surface part of the wall of the hollow established in the part which is the laser plasma light source which generates a radiant ray from the plasma acquired by irradiating laser at a solid-state target, is in the; above-mentioned solid-state target, and receives the exposure of the above-mentioned laser, and; this hollow evaporate, The source for ablation of laser which irradiates the laser for ablation towards this hollow; In order that the this vaporized matter may high-temperature-plasma-ize the part which carried out densification in the specific region in this hollow, The laser plasma light source which has the source for heating of laser and; which irradiate the laser for heating into this densification part, and grows into it.

[Claim 2] It is the laser plasma light source which is the laser plasma light source according to claim 1, and is characterized by being [at least one side or the both sides of the laser for the; above-mentioned ablation and the above-mentioned laser for heating / a pulse laser]:

[Claim 3] The laser plasma light source which is the laser plasma light source according to claim 1, and is characterized by digging [by the; above-mentioned solid-state target / the through tube which is open for free passage to the above-mentioned hollow]:

[Claim 4] The above-mentioned hollow which is the laser plasma light source according to claim 1, and was established in the; above-mentioned solid-state target is the laser plasma light source characterized by being [more than one]:

[Claim 5] It is the laser plasma light source characterized by aligning [are the laser plasma light source according to claim 4, and / the hollow of the; above-mentioned plurality]-in accordance with predetermined configuration:

[Claim 6] It is the laser plasma light source to which it is the laser plasma light source according to claim 1, 2, 3, 4, or 5, and the; above-mentioned solid-state target is characterized by being [two or more pieces]; from which an ingredient differs mutually.

[Claim 7] Are the approach of generating a radiant ray using the laser plasma light source which has a solid-state target, and establish a hollow in the; above-mentioned solid-state target, and the laser for ablation is irradiated towards; this hollow. After making the surface part of this hollow wall evaporate; the radiant ray generating approach characterized by generating [wait for the this vaporized matter to compress in this hollow, high-temperature-plasma-ize the evaporation matter which irradiated the laser for heating and this compressed it, and]-radiant ray:

[Claim 8] It is the radiant ray generating approach which is the radiant ray generating approach according to claim 7, and is characterized by being [at least one side or the both sides of the laser for the; above-mentioned ablation and the above-mentioned laser for heating / a pulse laser]:

[Claim 9] The radiant ray generating approach which is the radiant ray generating approach according to claim 7, and is characterized by going [at the; above-mentioned solid-state target, align two or more above-mentioned hollows, prepare, / irradiate the above-mentioned laser for ablation, and the above-mentioned laser for heating in order, and]-to this hollow of; each:

[Claim 10] The radiant ray generating approach which is the radiant ray generating approach according to claim 9, and is characterized by going [moving the; above-mentioned solid-state target itself, / irradiate two or more above-mentioned hollows in order, and]-by above-mentioned laser for ablation, and above-mentioned laser for heating:

[Claim 11] The radiant ray generating approach which is the radiant ray generating approach according to claim 7, and is characterized by using-radiant ray from which digs through tube which is open for free passage to above-mentioned hollow at; above-mentioned solid-state target, and it escapes through; this through tube:

[Claim 12] The radiant ray generating approach characterized by depositing and forming [on the support base material set near this solid-state target]-with matter which is approach according to claim 7 and was evaporated from hollow wall of above-mentioned solid-state target by the exposure of laser for; above-mentioned ablation-film of this evaporated matter:

[Claim 13] Two or more solid-state targets which are approaches according to claim 7, 8, 9, 10, 11, or 12, and consist of two or more sorts of different ingredients as a; above-mentioned solid-state target are used. Every shots per hour of; regularity With or the matter in which exchanged and used the solid-state target of these plurality for every predetermined time, and ablation was carried out by the exposure of the laser for the; above-mentioned ablation The radiant ray generating approach characterized by depositing and forming-on

support base material set near this solid-state target-multilayers which consist of two or more above-mentioned sorts of ingredients.

[Claim 14] The radiant ray generating approach characterized by carrying-out-spatter of film currently formed on support base material set near this solid-state target with matter which is approach according to claim 7 and was evaporated from hollow wall of above-mentioned solid-state target by the exposure of laser for; above-mentioned ablation.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] *** which especially this invention attains to from an extreme ultraviolet region more than an X-ray wavelength field — it is related with the laser plasma light source suitable for acquiring the powerful light source of a short wavelength field, and the radiant ray generating approach from there.

[0002]

[Description of the Prior Art] The laser plasma light source which a pulse laser is moreover irradiated [light source] also from the former as the small light source at a solid-state by the high brightness in the extreme ultraviolet-region and X-ray field which is needed in various fields, such as an X-ray microscope method and X-ray measurement, and generates a radiant ray is liked. However, this also has one big fault and it may be said that a lot of [the plasma] debris (solid-state debris) is generated. Since the extreme ultraviolet radiation and the X-ray over a large include angle are condensed in order to use effectively especially the plasma light source which is the emission light source, optical elements, such as a reflecting mirror, may be used, but if there is debris in that case, it will be easy to produce damage and contamination in the used optical element.

[0003] Nevertheless, also in the contraction X-ray-lithography technique in which ED is called for as a lithography technique of degree century, such the laser plasma light source attracts attention too. However, if, in order to close the application to this technique, also even as for after continuous running of 109 or more shots, the reflection factor fall of a multilayers reflecting mirror must realize very severe debris control from which it becomes several% or less. Speaking concretely, the conversion efficiency to an X-ray by 1J, for example When it is 1%, the total amount of the debris adhering to an optical surface is indispensable or less about 10 pg/sterad/shot. [the pulse energy of laser]

[0004] But if many debris restrictive measures were tried until now, it came. First, the quantitative evaluation of debris was made by this artificer etc. (T. Tomie et al., Proc.SPIE831 (1987) 224). Moreover, when generating the plasma in helium gas, from the plasma, the experimental result that the amount of debris which reaches the distance of 10cm could decrease about double figures was reported, and reduction-ization by thin-film-izing of a solid-state target was also proposed collectively. However, it was only stopping at the amount of debris also with several bigger figures than the severe demand in contraction lithography only by such technique.

[0005] On the other hand, if the KURAI target which cooled rare gas, such as Xe, is used, since the deposit efficiency to an optical surface will probably be low, the proposal that it will become satisfactory It was made by Mochizuki etc. (T. Mochizuki et al., Proc.SPIE 773 (1987) 246). The method which an experiment pelletizes the rare gas tried and solidified and this idea drives in by G.D.Lubiak etc. at the Sandia lab of the U.S. California whereabouts was developed (G. D.Lubiak et al., Tech.Digest Extreme Ultraviolet Lithography TuD(Monterey, 1994 Sep.)1 pp.82-84).

[0006] Furthermore, at the Lund university of the Sweden country Lund whereabouts, the liquid-target was proposed as the technique of solving the engineering problem which supplies a target continuously in a rare Gaspe let method. Alcohol is made to blow off from the nozzle which carries out high-speed vibration, and it is the diameter of 10 micrometers. The alcoholic drop was generated in the 1MHz super-high repeat. About this, they are pulse width 70ps, pulse energy 70mJ, and wavelength. 0.5 micrometers Wavelength of 3nm when irradiating by laser Conversion efficiency to an X-ray It was about 1%. Generating of a long wavelength X-ray searched for with contraction lithography is 8ns of pulse width, pulse energy 700mJ, and wavelength. 1 micrometer It is tried by laser radiation and the conversion efficiency to an X-ray with a wavelength of 13nm About 0.1% was obtained (L. Malmqvist et al., OSA TOPS on Extreme Ultraviolet Lithography, 1996, Vol.4, eds.G.D.Kubiak and D.R.Kania pp(Opt.Soc.Am., Washington DC, 1996).72-74). From the amount adhering to the glass plate set near the target, the amount of debris was estimated to be 6 pg/sterad/pulse (L. Rymell and H.M.Hertz, Rev.Sci.Instrum.66 (1995) 4916). However, the alcoholic drop consists of oxygen and carbon and these are wavelength fields. 2-3nm Although it has high conversion efficiency, it is not an element effective in generating of the X-ray of other wavelength fields.

[0007] On the other hand, at the Sandia lab, the method which makes Xe gas blow off from an injection nozzle was also developed again (G. D.Kubiak et al., OSA TOPS on Extreme Ultraviolet Lithography, 1996, Vol.4, eds.G.D.Kubiak and D.R.Kania(Opt.Soc.Am., Washington DC, 1996) pp.66-71). According to the report, the matter which was very low as for the rate which rare gas adheres and accumulates to an optical surface, and adhered to multilayers is only the ingredient of a jet nozzle and its cooling York, and with 17 pg/shot, I hear that there were also very few the amounts, and it has them.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] According to an above-mentioned drop method thru/or an above-mentioned gas-jet method, it means that surely it compares with the method using a solid-state target, and control of triple figures was realized about the amount of debris evaluated by adhesion in an optical surface. However, the conversion efficiency to an X-ray is the one half of the value acquired with the golden solid-state target in a solid-state target method. There is nothing at 0.5%. Considering derating of excitation laser, and the viewpoint of implementability, it is desired for conversion efficiency to be large about several of these times.

[0009] Moreover, it is desirable that generating of various wavelength is needed if application of this kind of light source is caused how, and-izing of various elements after all for optimization of the plasma light source can be carried out [plasma] on the other hand since the peak and bandwidth of wavelength of an X-ray which are generated from the plasma change with elements. However, in the case of a gas-jet method, an ingredient will be restricted to Xe, Ar, and N₂ grade. The X-ray wavelength from Xe gas-jet light source of a Sandia lab is Mo/Si whose manufacture is the easiest multilayers. It has turned out that it is 11.5nm [nm / which can be used / 13] shifted. In order to use this X-ray wavelength effectively, development of new multilayers is imminent. Also in the drop method of a Lund university, an usable element is restricted to oxygen, carbon, nitrogen, etc.

[0010] Furthermore, in contraction lithography, it has been a big technical problem to make wave aberration of optical system small, and it is thought that adoption of the ring field lighting using the small field of wave aberration is indispensable. For ring field lighting, the approach of it being circular and carrying out the sweep of the location of X line source to a high speed according to the deviation of a laser beam, is leading. However, it will be necessary to also sweep an injection location fast to coincidence, and it is not easy in a gas-jet method or a drop method.

[0011] In addition, according to a drop method or the gas-jet method, it says that remarkable mitigation-ization is realized about the amount of the debris adhering to an optical surface, but the amount of the liquid which should be removed, and the gaseous amount which must be evaporated and exhausted are increasing on the contrary. For example, inside of the drop train generated in a 1MHz super-high repeat noting that it is able to irradiate by 1kHz in the case of a drop method It can use only 0.1%. Therefore, in order to mitigate the burden of an exhaust air system, a device which are collected without evaporating a drop train is required. the case of a rare gas-jet method -- hundreds of micrometers making a blowdown field -- blowdown time amount of the gas from a nozzle 1 microsecond although it comes out enough below -- shutter speed of the usual plasma solenoid valve 100 microseconds the above -- it is -- a 100 or more time thing -- the blowdown of unnecessary gas will be performed. From such a thing, it does not pass over a rare gas-jet method to substitute a debris problem for the exhaust velocity problem of gas secretly, but it also has a view that it is not what brings about essential solution.

[0012] Thus, if the approach proposed variously until now is also seen only from a viewpoint of control of the amount of debris evaluated by adhesion in an optical surface, although it excels, conversion efficiency, wavelength variability, the sweep nature of X line source location, etc. cannot be said to be a satisfactory thing with taking other important specifications into consideration synthetically, but hesitate about utilization.

[0013] Then, this invention person improved the solid-state target anew. Unlike the method of above-mentioned rare gas, a drop, and a gas jet, since the selection width of face of an ingredient element is wide, the optimal ingredient for the generating can be used for a solid-state target to the X-ray of various wavelength. Moreover, fast sweep of X line source location by the high-speed deviation of a laser beam is possible. Then, if generating of a lot of debris which can be regarded as the only fault can be inhibited conversely, this will serve as a very satisfactory source of a radiant ray. This invention pursues this point surely.

[0014]

[Means for Solving the Problem] this invention person paid his attention to the thing which do not generate such a radiant ray in process of the research in the conventional plasma light source which uses a solid-state as a target other than the high-temperature plasma part which generates radiant rays of a short wavelength field, such as extreme ultraviolet radiation and an X-ray, and which an overly high density field exists at low temperature relatively. Although temperature is not so high as this low-temperature super-high density field generates a radiant ray, the energy given by laser is stored at a certain amount of rate, and it becomes the heat source which generates debris one after another after laser radiation. Then, if only high-temperature plasma can be generated without making this low-temperature super-high density field, it can decrease and plasma heating effectiveness should be able to also improve the amount of debris. Furthermore, this invention person also noted that the remarkable rate of the energy given to the plasma was changed into fluid movement of the plasma. Therefore, if it can heat without accelerating the plasma, the extensive improvement of the conversion efficiency to a radiant ray should be able to be performed.

[0015] This invention was accomplished under such knowledge and it realized by separating into control of unnecessary generating of a low-temperature high density field, the ablation process which strips off the mass for plasma production for the plasma heating which controlled acceleration from a solid-state, and the heating process which forms the matter into the high density plasma.

[0016] That is, in this invention, a hollow is first established in a solid-state target. In order to high-temperature-plasma-ize the part which the matter which this evaporated became depressed and carried out densification to the source for ablation of laser which irradiates the laser for ablation towards this hollow in the inner specific region in order to make the surface part of the wall of the hollow concerned evaporate moreover,

the source for heating of laser which irradiates the laser for heating is established in this densification part. Such a theoretic equipment configuration is applicable to the very effective radiant ray generating approach which is described below. that is, the above-mentioned hollow -- first of all -- the laser for ablation -- especially, a pulse laser is irradiated preferably and ablation of the surface part of the internal surface of a hollow is carried out. Then, the vaporized exfoliation expansion matter becomes depressed according to the concave surface structure of the hollow concerned, and it is compressed towards the specific field of inner space. It is there, next ablation is carried out in this way, the laser for heating and this also irradiate and high-temperature-plasma-ize a pulse laser preferably to the evaporation matter which is separated from a hollow internal surface, became depressed, and was compressed all over inner space, and generating of a radiant ray is aimed at. By carrying out like this, a good radiant ray with little debris can be generated. For optimization here of a light source property, generally, the laser the object for exfoliation (for ablation) and for heating is set up so that wavelength and pulse width may differ from exposure reinforcement mutually. Furthermore, the exposure timing of the laser for heating is more desirably delayed to it of the laser for exfoliation.

[0017] In this invention, the solid-state target concerned is penetrated on the wall surface which separated from the core of the hollow prepared on the solid-state target, or the core again, the hole which is open for free passage to a hollow is dug, and the configuration using the radiant ray which escapes from this through tube is also proposed.

[0018] Furthermore, by this invention, seeing at a solid-state target superficially and establishing two or more hollows in it in accordance with the configuration of circular and others also proposes, and ring field lighting etc. is enabled by irradiating these hollows separately according to the fast sweep deviation of a laser beam.

[0019] In addition, it not only strives for removal, but by this invention, it considers the deployment conversely by using as discard the matter generated from the plasma. That is, in this kind of light source, as stated above, condensing the generated radiant ray with a reflecting mirror means may be performed well, and the multilayers reflecting mirror which consists of the metal of a different class as the reflecting mirror means concerned thru/or the multilayers structure of a semi-conductor may be used in that case. Under such a situation, using each film of the multilayers concerned to a suitable support base material top as matter deposited and produced also proposes the generated debris by this invention. Therefore, a solid-state target can also propose the configuration using that from which an ingredient differs mutually two or more again. However, since the particle emitted from the plasma has the spatter operation which does not deposit on multilayers but deletes multilayers conversely if it depends on a flying speed, it is also possible to use the operation.

[0020]

[Embodiment of the Invention] One operation gestalt of this invention is shown in drawing 1. According to this invention, the suitable geometric configuration and the hemispherical hollow 12 are dug in this case by the solid-state target 11. At this invention, it is drawing 1 (A) first to the solid-state target 11 of such a configuration. It is the well-known existing thing, it becomes depressed and the suitable good source for ablation of laser (this very thing is not shown) to the laser 13 for ablation is irradiated towards 12, and it plans so that only the **** surface part of the wall of a hollow 12 may be made to evaporate, so that it may be shown typically. For that purpose, it is desirable that it is the pulse laser which generates a **** short time and powerful energy, for example, the laser 13 for ablation concerned is the radius of 0.1mm to the solid-state target 11. It is wavelength when the semi-sphere-like hollow 12 is dug. 1-micrometer, pulse width 1ps, pulse energy 0.5mJ, and peak power 500MW The ultrashort pulse laser 13 can be used. Of course, even if an optimum value changes with wavelength of the ingredient of a target, the radius of a hollow or magnitude (volume), and ablation laser etc. and it makes it laser pulse width, shorter femtosecond order is sometimes suitable and sub nanosecond extent of a long eye is sometimes conversely suitable [this is an example, and] to a slight degree.

[0021] When the pulse laser 13 for ablation is irradiated, it is drawing 1 (B). The temperature of the matter of the **** surface of the wall of a hollow 12 becomes in an instant beyond evaporation temperature, and as an arrow head 16 shows typically, the vaporized surface matter 14 concerned starts expansion to a vacuum side, so that it may be shown. A thing important here be unlike this invention, be this phase that be only the ablation process of the beginning in this invention primarily, and having already plan generating of an X-ray in the conventional plasma light source, and be actually the reinforcement which be too high for the purpose of ablation in order to acquire bigger X-ray energy than the case in this invention which turned the account of an example up, and be perform laser radiation of too long pulse width call around 10ns. Therefore, ablation of many matter was carried out superfluously.

[0022] On the other hand, in this invention, after carrying out only a surface **** surface beyond evaporation temperature and stripping off the necessary minimum matter from a solid-state, the temperature of the solid-state target 11 is again lowered to below evaporation temperature. That is, when the evaporation matter 14 is heated, high-temperature plasma was generated and plasma heating is performed to the inside which the evaporation matter 14 does not separate from the front face of the solid-state target 11 enough although the radiant ray (it represents with an X-ray hereafter since it is easy here) was emitted from there, solid-state target 11 the very thing will be reheated by heat conduction from high-temperature plasma, and the generation source of debris will be made. Since it is necessary to perform plasma heating after [when the ablation matter 14 is sufficient from the wall surface of the solid-state target 11] carrying out a distance flight in order to prevent this, in this invention, it is planning such.

[0023] However, supposing the evaporation matter 14 only merely expands from a plane solid-state wall as in the conventional solid-state target, even if a plasma consistency will fall rapidly and will irradiate the laser for

heating here, most of the energy is not absorbed. On the other hand, the effectiveness of having become depressed at the solid-state target 11 in this invention, and having prepared 12 works very effectively. That is, the evaporation matter 14 stripped off from the solid-state target 11 is drawing 1 (B) at effectiveness like the lens effectiveness so to speak which the hollow configuration concerned has in the space in a hollow 12. As the inner arrow head 15 shows typically, the specific field part in space, and since it shifts towards the core of the space concerned in this case, the densification part 15 is formed there. But a straight-line configuration with the configuration which it did not restrict to the hemispherical thing which the configuration of a hollow 12 not necessarily assumed here, but was obtained also in the shape of cylindrical, a prismatic form, and a cone, the shape of a pyramid, and the configuration approximated to them, and the cross-section configuration approximated to a semicircle, a rectangle, a triangle, and them is sufficient as such consistency compression effectiveness. although the optimum value of the diameter of a hollow 12 also changes with the pulse width of the pulse laser 13 for ablation, and the below-mentioned pulse laser 17 for heating, and pulse energies — general — dozens of micrometers from — There is suitable range for about 1mm.

[0024] It heats by waiting that the evaporation matter 14 becomes depressed, fill 12 with this invention next, the consistency near a core becomes high, and the densification part 15 generates. If it puts in another way, after the exposure of the pulse laser 13 for ablation, a suitable time delay will be placed and the pulse laser 17 for heating will be irradiated from the suitable source for heating of laser which is not illustrated, for example, the case where the various conditions mentioned already about the geometric-like parameter and the pulse laser 13 for ablation of a hollow 12 are answered — after the exposure of the pulse laser 13 for ablation concerned — 3ns **** — drawing 1 (B) Most space of a hollow 12 is filled with the low temperature gas 14 of a consistency with a solid-state consistency low about triple figures so that it may be shown. Ideally, this gas 14 is neutrality mostly and is carrying out extent ionization of many cases a little. Then, about this gas 14, it is drawing 1 (C). It is wavelength so that it may be shown. It irradiates by 1 micrometer, 1ns of pulse width, pulse energy 50mJ, and the peak power 50MW pulse laser 17 for heating. Then, the densification part 15 all over the space in a hollow 12 absorbs the energy of the pulse laser 17 for heating, and becomes the about 100eV high-temperature plasma 18, and X-ray 19 which has a spectrum peak in the wavelength of about 60nm is emitted.

[0025] Thus, since high-temperature plasma 18 may be generated in the place fully distant from the wall of the solid-state target 11 according to this invention Since the evaporation matter 14 is heated after being able to suppress small the heat-conduction loss to the solid-state target 11 and fully carrying out acceleration expansion It is hardly accelerated, but the plasma 18 under heating by the pulse laser 17 for heating can also control the loss to plasma kinetic energy, and its conversion efficiency to an X-ray improves sharply after all. Supposing this is based on the conventional approach, although the amount of radiation comparable as this invention is obtained, probably it needs about 10 or more-time ** thing input energy.

[0026] In addition, although it becomes depressed at first and the temperature near the space core of 12 rises with heating by the pulse laser 17 for heating, if laser pulse width is too long, an elevated-temperature field will spread with the passage of time, even the wall surface of the solid-state target 11 will be reached, and laser will come to be absorbed near the wall surface of the ***** target 11 at last. It is better for the pulse width of the pulse laser 17 for heating not to be too long because of control of generating of debris, since debris generating will increase superfluously if the wall surface temperature of the solid-state target 11 rises by this. But this also becomes depressed, therefore, how of the radius of 12 and a configuration should be changed how, and it is also considered that there is suitable range for the pulse width for several nanoseconds from a sub nanosecond.

[0027] moreover — the ablation matter 14 becomes depressed, fill 12, and the consistency near a core becomes high — this operation gestalt — previous statement — like — since about 3ns is required — the same — this operation gestalt — time delay from the time of an exposure halt of the pulse laser 13 for ablation to exposure initiation of the pulse laser 17 for heating It was set as 3ns. However, on the problem to which this also belongs to a design-factor, of course, each reinforcement of a hollow radius thru/or magnitude, a target ingredient, and the use laser 13 and 17 responds how, and the optimal time delays also differ.

[0028] But in this invention, by how of the configuration of a hollow 12, although the consistency compression effectiveness of the ablation matter 14 is acquired, since the operation is passive, a semi-sphere etc. has a limitation also in the compression effectiveness. then, sufficient absorption is obtained even if the consistency of the evaporation matter 14 which fills a hollow 12 does not become so large — being alike — the one where the wavelength of the pulse laser 17 for heating is generally longer — desirable — 0.5 micrometers from — it mentioned above 1 micrometer There is a suitable place for extent. On the other hand, heating by the higher power for it being greatly influenced by the temperature of the high-temperature plasma 18 which the wavelength of X-ray 19 generated is heated and is generated, and generating the X-ray of short wavelength more will be performed. The exposure power in this operation gestalt is only an example.

[0029] Other operation gestalten of this invention are shown in drawing 2. The place which was based on drawing 1 each drawing and has so far been explained includes similarly applicable contents also about the operation gestalt after this drawing 2. and the explanation about them explains only the description part about bracing and each operation gestalt. In the case of the operation gestalt first shown in this drawing 2 R> 2, it becomes depressed, and the meat of the solid-state target 11 is penetrated to 12, and the through tube 21 which was dug at the solid-state target 11 and from which it escapes at the rear face is formed in it. Therefore, although two sorts of laser has been written together in this Fig. since it is easy, X-ray 19 from which it escapes at the rear face of the solid-state target 11 through a through tube 21 can be used in X-ray 19

generated from the high-temperature plasma 18 which was made to carry out ablation of the matter by the pulse laser 13 for ablation according to the approach of this invention, and was generated by the exposure of the pulse laser 17 for heating after the suitable time delay. This is advantageous in respect of the following. [0030] In this kind of light source, although not illustrated, convergent radiotherapy of the pulse laser 13 for ablation and the pulse laser 17 for heating is carried out using a suitable lens etc. Therefore, if it is going to take out X-ray 19 generated from high-temperature plasma 18 from the same side as a laser radiation side, the include angle using an X-ray will be restricted greatly. On the other hand, if X-ray 19 which escapes from the through tube [as / in the operation gestalt shown in drawing 2] 21 prepared in the solid-state target 11, and is outputted to a rear-face side is used, the X-ray use which is not restricted to existence of a material laser radiation system will be attained. Moreover, since the debris to generate mainly exercises for a side front, that an X-ray can be taken out from the opposite side leads to much more debris mitigation-ization.

[0031] Of course, the location in which a through tube 21 is formed is arbitrary. In illustration, the through tube 21 has fallen out from the vertex of the semi-sphere-like hollow 12 at the rear face, but it not necessarily becomes depressed, the through tube 21 does not have to carry out opening to the core of 12, and the through tube from which it escapes on the side face of the solid-state target 11 further may be prepared. The number of through tubes 21 is also arbitrary.

[0032] A little drawing 3 shows other operation gestalten of this invention which changed the view. Two or more hollows 12 are dug by the solid-state target 11, and two or more hollows 12, such as this, have aligned along with the radii of curvature suitable in this case. If such a solid-state target 11 is used, to each hollow 12, the pulse laser 13 for ablation and the pulse laser 17 for heating can be deflected [every shot and] in sequence every two or more shots, can be irradiated, and the target X-ray can be generated. That is, the ring lighting for which the small lighting of aberration is asked in contraction lithography by making arrangement of two or more hollows 12 into the shape of radii is attained. But since a hollow 12 is dug at intervals and near the core of each hollow 12 generates an X-ray, the intensity distribution of an X-ray do not become uniform along with radii strictly. However, along with radii, the X-ray intensity of uniform intensity distribution can be obtained by rotating the whole target continuously so that radii may be met. Of course, like illustration of arrangement of a hollow, the approach of acquiring continuous X-ray intensity distribution can be applied, also when, and it has arranged in the shape of [of the configuration of a straight line or arbitration] a curve.

[0033] Although lessons was mainly taken for the above from the structural amelioration to the solid-state target 11 by this invention, and the amelioration about ablation and heating procedure and being stated, invention from a different viewpoint is also indicated in this invention. That is, the way of thinking referred to as being able to use effectively depending on the direction using debris itself is shown. For example, as stated also in advance, generally use is presented with the radiant ray from this kind of light source through the optical system of a multilayers reflecting mirror etc. And an X-ray multilayers mirror carries out the laminating of many layers which consist of a light element (for example, Si), and layers which consist of a heavy element (for example, Mo) by turns regularly, and is constituted in many cases, for example.

[0034] Then, two solid-state targets 11 which consist of two sorts of ingredients used by such multilayers can be prepared, and multilayers can be made to deposit and form on the suitable support base material (not shown) set near the target using the ablation matter itself by exchanging these two kinds of targets (for example, Si and Mo) for every fixed shots per hour and every predetermined time. Moreover, not using two or more kinds of ingredients, ** can also not necessarily take the technique of repeating taking out the multilayers reflecting mirror which Mo deposited after a fixed shot thru/or predetermined time amount, carrying out the coat of the Si and using as a converging mirror of the plasma light source again with another sputtering system, using Mo as a target ingredient of the plasma light source.

[0035] Furthermore, if the particle emitted from the plasma depends on a flying speed, it is not deposited on multilayers, but it has the spatter operation which deletes multilayers conversely. Therefore, under such conditions, the number of layers of multilayers decreases gradually, without most reflection factors of the used multilayers changing. before [in this case,] a number of layers's decreasing too much and resulting in decline in a reflection factor — a reflecting mirror — taking out — the number of layers of multilayers — stacking — increase — what is necessary is just to carry out

[0036] Anyway, a debris problem is completely solved by such approach and even a deployment becomes possible rather by it. In addition, about a target ingredient, if it is above-mentioned Mo and not only Si but W, C and others, and the ingredient that can be about used in this kind of field, anything, it is good and the number of classes can also use two or more kinds and much more classes. Moreover, in order to become depressed at the solid-state target 11 and to prepare 12, if it says in a semi-sphere-like hollow when above big to some extent for example, a diameter 500 micrometers When reaching above, being based on machining generally is appropriate. on the other hand, the same — even when it is hemispherical — case a diameter is comparatively small — especially — 100 micrometers When good below, processing by laser beam machining is possible. And in the case of the latter, the energy laser beam only for processings may be used separately, but if the laser for ablation and the laser for heating which are used in this invention are required, pulse width etc. can be adjusted and it can use also as laser for processing.

[0037]

[Effect of the Invention] According to this invention, as the plasma light source which should obtain a radiant ray, good news is uniquely given to the solid-state target method which had the problem in respect of debris generating, and even if it compares with other methods, the plasma light source of the solid-state target

method which was greatly excellent can be acquired.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the explanatory view of 1 operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] It is the explanatory view of other operation gestalten of this invention.

[Drawing 3] It is the top view of the solid-state target in the operation gestalt of further others of this invention.

[Description of Notations]

11 Solid-state Target,

12 Hollow,

13 Pulse Laser for Ablation,

14 Evaporation Matter,

15 Densification Part,

17 Pulse Laser for Heating,

18 High-temperature Plasma,

19 Radiant Ray,

21 Through Tube

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 1)

(11) 特許番号

第2897005号

(45) 発行日 平成11年(1999) 5月31日

(24) 登録日 平成11年(1999) 3月12日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 J 35/22

H 0 1 J 35/22

G 0 1 N 21/01

G 0 1 N 21/01

D

21/33

21/33

H 0 5 G 2/00

H 0 5 G 1/00

K

請求項の数14(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-64256

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月27日

審査請求日 平成10年(1998) 3月27日

特許権者において、実施許諾の用意がある。

(73) 特許権者 000001144

工業技術院長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(74) 上記1名の指定代理人 工業技術院電子技術総合研究所長

(73) 特許権者 598034476

富江 敏尚

茨城県つくば市下広岡670-73

(72) 発明者 富江 敏尚

茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研究所内

審査官 小松 徹三

(56) 参考文献 特開 平4-67599 (J P, A)

特開 平10-221499 (J P, A)

特開 平6-325708 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザプラズマ光源及びこれを用いた輻射線発生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザを固体ターゲットに照射して得られるプラズマから輻射線を発生させるレーザプラズマ光源であって、上記固体ターゲットにあって上記レーザの照射を受ける部分に設けられた窪みと、該窪みの内壁の表層部分を気化させるため、該窪みに向けてアブレーション用レーザを照射するアブレーション用レーザ源と、該気化した物質が該窪み内の特定領域にて高密度化した部分を高温プラズマ化するため、該高密度化部分に加熱用レーザを照射する加熱用レーザ源と、を有して成るレーザプラズマ光源。

【請求項2】 請求項1に記載のレーザプラズマ光源であって、上記アブレーション用レーザ及び上記加熱用レーザの少なくとも一方または双方はパルスレーザであること、を特徴とするレーザプラズマ光源。

【請求項3】 請求項1に記載のレーザプラズマ光源であって、上記固体ターゲットには、上記窪みに連通する貫通孔が穿たれていること、を特徴とするレーザプラズマ光源。

【請求項4】 請求項1に記載のレーザプラズマ光源であって、上記固体ターゲットに設けられた上記窪みは複数個あること、を特徴とするレーザプラズマ光源。

【請求項5】 請求項4に記載のレーザプラズマ光源であって、上記複数個の窪みは所定の形状に沿って整列していること、を特徴とするレーザプラズマ光源。

【請求項6】 請求項1、2、3、4または5に記載のレーザプラズマ光源であって、上記固体ターゲットは互いに材料の異なる複数個あること、を特徴とするレーザプラズマ光源。

【請求項7】 固体ターゲットを有するレーザプラズマ

光源を用いて放射線を発生させる方法であって：上記固体ターゲットに窪みを設け、該窪みに向けてアブレーション用レーザを照射し、該窪み内壁の表層部分を気化させた後、該気化した物質が該窪み内にて圧縮するのを待って加熱用レーザを照射し、該圧縮した気化物質を高温プラズマ化して放射線を発生させること；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項8】 請求項7に記載の放射線発生方法であって：上記アブレーション用レーザ及び上記加熱用レーザの少なくとも一方または双方はパルスレーザであること；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項9】 請求項7に記載の放射線発生方法であって：上記固体ターゲットには複数個の上記窪みを整列させて設け、一つ一つの窪みに順に上記アブレーション用レーザ及び上記加熱用レーザを照射して行くこと；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項10】 請求項9に記載の放射線発生方法であって：上記固体ターゲット自体を移動させながら上記アブレーション用レーザ及び上記加熱用レーザにて上記複数の窪みを順に照射して行くこと；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項11】 請求項7に記載の放射線発生方法であって：上記固体ターゲットには上記窪みに連通する貫通孔を穿ち、該貫通孔を介して抜けて来る放射線を利用すること；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項12】 請求項7に記載の方法であって：上記アブレーション用レーザの照射により上記固体ターゲットの窪み内壁から気化した物質により、該固体ターゲットの近傍においた支持基材上に該気化した物質の膜を堆積、形成すること；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項13】 請求項7、8、9、10、11または12に記載の方法であって：上記固体ターゲットとして二種以上の異なる材料から成る複数の固体ターゲットを用い、一定のショット数ごと、あるいは所定時間ごとにこれら複数の固体ターゲットを交換して使用し：上記アブレーション用レーザの照射によりアブレーションされた物質により、該固体ターゲットの近傍においた支持基材上に上記二種以上の材料から成る多層膜を堆積、形成すること；を特徴とする放射線発生方法。

【請求項14】 請求項7に記載の方法であって：上記アブレーション用レーザの照射により上記固体ターゲットの窪み内壁から気化した物質により、該固体ターゲットの近傍においた支持基材上に形成されている膜をスパッタすること；を特徴とする放射線発生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、特に極端紫外領域からX線波長領域以上に及ぶ極く短い波長領域の強力光源を得るに適したレーザプラズマ光源と、そこからの放射線発生方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 X線顕微鏡法、X線計測等、種々の分野で必要となる極端紫外領域、X線領域における高輝度でしかも小型な光源として、従来からも、パルスレーザを固体に照射して放射線を発生させるレーザプラズマ光源が好まれている。しかし、これにも一つの大きな欠点があって、プラズマが大量のデブリ（固体飛散物）を発生するということがある。特に、発散光源であるプラズマ光源を有効に利用するべく、広い角度に渡る極端紫外光、X線を集光するために、反射鏡等の光学素子が用いられることがあるが、その際、デブリがあると、用いた光学素子に損傷や汚染が生じ易い。

【0003】 にもかかわらず、次世紀のリソグラフィ技術として技術開発が求められている縮小X線リソグラフィ技術においても、やはりこうしたレーザプラズマ光源が注目されている。ところが、この技術への応用を可能ならしめるには、 10^9 ショット以上の連続運転後も多層膜反射鏡の反射率低下が数%以下になるような、極めて厳しいデブリ抑制を実現せねばならない。具体的に言えば、例えばレーザのパルスエネルギーが1JでX線への変換効率が1%の時、光学面に付着するデブリの総量は10pg/sterad/shot程度以下でなくてはならない。

【0004】 もっとも、これまでも多くのデブリ抑制策が試みられては来た。まず、本件発明者等により、デブリの定量的評価がなされた (T.Tomie et al., Proc. SPIE831 (1987) 224), また、プラズマの発生をHeガス中で行えばプラズマから10cmの距離に到達するデブリ量が二桁近く減衰できるという実験結果が報告され、併せて固体ターゲットの薄膜化による減少化も提案された。しかし、これらの手法だけでは、縮小リソグラフィにおける厳しい要求より数桁も大きなデブリ量に留まるのみだった。

【0005】 これに対し、Xe等の希ガスを冷却したクライオターゲットを用いれば、光学表面への付着率が低いのだろうから、問題なくなるだろうという提案が Mochizuki等によりなされた (T.Mochizuki et al., Proc. SPIE 773 (1987) 246), このアイデアは、米国カリフォルニア州所在のSandia研究所でG.D.Lubiak等により実験が試みられ、固化した希ガスをペレット化して打ち込む方式が開発された (G.D.Lubiak et al., Tech.Digest Extreme Ultraviolet Lithography (Monterey, 1994 Sep.) TuD1 pp. 82-84)。

【0006】 さらに、希ガスペレット方式における、ターゲットを連続的に供給する工学的な問題を解決する手法として、スウェーデン国 Lund 市所在のLund大学では、液的ターゲットが提案された。高速振動するノズルからアルコールを吹き出させて、直径10 μ mのアルコール液滴を1MHzの超高繰り返しで発生した。これを、パルス幅70ps、パルスエネルギー70mJ、波長0.5 μ mのレーザで照射したときの、波長3nmのX線への変換効率は1%程

度であった。縮小リソグラフィで求められる長波長X線の発生は、パルス幅8ns、パルスエネルギー700mJ、波長1 μ mのレーザ照射で試みられ、波長13nmのX線への変換効率が0.1%程度を得た(L. Malmqvist et al., OSA TOPS on Extreme Ultraviolet Lithography, 1996, Vol. 4, eds. G. D. Kubiak and D. R. Kania (Opt. Soc. Am., Washington DC, 1996) pp. 72-74)。ターゲット近傍に於いたガラス板に付着した量から、デブリの量は6pg/sterad/pulseと見積もられた(L. Rymell and H. M. Hertz, Rev. Sci. Instrum. 66(1995)4916)。ただ、アルコール液滴は酸素と炭素から構成されており、これらは波長領域2~3nmで高い変換効率を持っているものの、他の波長領域のX線の発生には有効な元素ではない。

【0007】一方、Sandia研究所ではまた、Xeガスを噴射ノズルから吹き出させる方式も開発した(G. D. Kubiak et al., OSA TOPS on Extreme Ultraviolet Lithography, 1996, Vol. 4, eds. G. D. Kubiak and D. R. Kania (Opt. Soc. Am., Washington DC, 1996) pp. 66-71)。その報告によると、希ガスが光学面へ付着、蓄積する率は極めて低くて、多層膜へ付着した物質はジェットノズルおよびその冷却ヨークの材料のみであり、その量も、17pg/shotと極めて少なかったということである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】確かに、上述の液滴方式ないしガスジェット方式によれば、光学面への付着で評価したデブリ量に関しては、固体ターゲットを用いる方式に比し、三桁もの抑制が実現したことになる。しかし、X線への変換効率は、固体ターゲット方式における、金の固体ターゲットで得られた値の半分の0.5%でしかない。励起レーザの負担軽減および実現性の観点からすると、変換効率はこの数倍程度に大きいことが望まれている。

【0009】また、この種の光源の応用の如何によっては様々な波長の発生が必要になり、一方、プラズマから発生されるX線の波長のピークおよびバンド幅は元素により異なるので、結局、プラズマ光源の最適化のためには、様々な元素をプラズマ化できることが望ましい。ところが、ガスジェット方式の場合は材料がXe, Ar, N₂等に限られてしまう。Sandia研究所のXeガスジェット光源からのX線波長は、製作が最も容易な多層膜であるMo/Siが利用できる13nmからずれた11.5nmであることが分かってきた。このX線波長を有効に利用するため、新たな多層膜の開発に迫られている。Lund大学の液滴方式に於いても、使用可能な元素は酸素、炭素、窒素などに制限される。

【0010】さらに、縮小リソグラフィにおいては、光学系の波面収差を小さくすることが大きな課題になっており、波面収差の小さな領域を用いるリングフィールド照明の採用が必須と考えられている。リングフィールド照明のためには、レーザビームの偏向によりX線源の位

置を円弧状で高速に掃引する方法が有力である。しかし、ガスジェット方式や液滴方式においては、噴射位置も同時に高速掃引する必要が生じ、それは容易でない。

【0011】加えて、液滴方式あるいはガスジェット方式によると、光学面に付着するデブリの量に関してはかなりの軽減化が実現されるとは言いが、除去すべき液体の量や、気化され、排気されねばならない気体の量は却って増加している。例えば液滴方式の場合、1kHzで照射できたとして、1MHzの超高繰り返しで発生される液滴列の中の0.1%しか利用できない。そのため、排気系の負担を軽減するには、液滴列を蒸発させないで回収するような工夫が必要である。希ガスジェット方式の場合にも、数百 μ mの吹き出し領域を作り出すのにノズルからのガスの吹き出し時間は1 μ s以下で十分であるが、通常のプラズマ電磁弁のシャッタ速度は100 μ s以上であり、100倍以上もの不要なガスの吹き出しが行われることになる。こうしたことから、希ガスジェット方式は、デブリ問題をガスの排気速度問題にすり替えるに過ぎず、本質的解決をもたらすものではないとの見方もある。

【0012】このように、これまで種々提案された方法も、光学面への付着で評価したデブリ量の抑制の観点だけから見れば優れているとは言え、変換効率、波長可変性、X線源位置の掃引性等、他の重要な仕様をも総合的に勘案すると満足なものとは言えず、実用化には二の足を踏む。

【0013】そこで本発明者は、改めて固体ターゲットを見直した。固体ターゲットは、上述の希ガス、液滴、ガスジェットの方式とは異なり、材料元素の選択幅が広いので、様々な波長のX線に対し、その発生に最適な材料が使用できる。また、レーザビームの高速偏向によるX線源位置の高速掃引が可能である。そこで逆に、唯一の欠点と思える多量のデブリの発生を抑制し得れば、これは極めて満足な輻射線源となる。本発明は、まさしくこの点を追求したものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明者は、その研究の過程で、固体をターゲットとする従来のプラズマ光源においては、極端紫外光やX線等、短波長領域の輻射線を発生する高温プラズマ部分以外に、そうした輻射線を発生しない、相対的に低温で超高密度な領域が存在することに着目した。この低温超高密度領域は、輻射線を発生するほどに温度は高くはないが、レーザで与えられたエネルギーをある程度の割合で蓄えており、レーザ照射後に次々とデブリを発生させる熱源になる。そこで、この低温超高密度領域を作らずに高温プラズマのみを生成できればデブリ量を減少し得る筈であるし、プラズマ加熱効率も改善できる筈である。さらに、本発明者は、プラズマに与えられたエネルギーのかなりの割合が、プラズマの流体運動に変換されることにも注目した。従って、プラズマを加速することなく加熱できれば、輻射線への変換

効率の大幅な改善ができる筈である。

【0015】本発明はこのような知見の下に成されたもので、不必要な低温高密度領域の発生の抑制と、加速を抑制したプラズマ加熱を、プラズマ生成のための質量を固体から剥ぎ取るアブレーション過程と、その物質を高密度プラズマ化する加熱過程とに分離することで実現した。

【0016】すなわち、本発明では、まず、固体ターゲットに窪みを設ける。その上で、当該窪みの内壁の表層部分を気化させるため、この窪みに向けてアブレーション用レーザを照射するアブレーション用レーザ源と、これにより気化した物質が窪み内の特定領域にて高密度化した部分を高温プラズマ化するため、この高密度化部分に加熱用レーザを照射する加熱用レーザ源とを設ける。このような原理的装置構成は、以下に述べるような、極めて有効な輻射線発生方法に適用できる。つまり、上記の窪みにまずはアブレーション用レーザ、特に好ましくはパルスレーザを照射し、窪みの内壁面の表層部分をアブレーションさせる。すると、当該窪みの凹面構造により、気化した剥離膨張物質は窪み内空間の特定の領域に向けて圧縮される。そこで次に、このようにアブレーションされ、窪み内壁面から離れて窪み内の空間中で圧縮された気化物質に加熱用レーザ、これも好ましくはパルスレーザを照射して高温プラズマ化し、輻射線の発生を図る。こうすることで、デブリの少ない良質な輻射線を発生させることができる。ここで、光源特性の最適化のために、剥離用（アブレーション用）と加熱用のレーザは、一般には波長、パルス幅、照射強度が互いに異なるように設定する。さらに、より望ましくは、加熱用のレーザの照射タイミングは剥離用レーザのそれに対して遅らせる。

【0017】本発明ではまた、固体ターゲット上に設けた窪みの中心、あるいは中心を外れた壁面に当該固体ターゲットを貫通し、窪みに連通する孔を穿ち、この貫通孔を抜けて来る輻射線を利用する構成も提案する。

【0018】さらに本発明では、固体ターゲットに平面的に見て円弧状その他の形状に沿って複数個の窪みを設けることも提案し、レーザビームの高速掃引偏向によりこれらの窪みを個々に照射することで、リングフィールド照明等も可能にする。

【0019】加えて、本発明では、プラズマから発生する物質を不要物として除去に努めるだけでなく、逆にその有効利用も考える。すなわち、この種の光源では既述の通り、発生させた輻射線を反射鏡手段により集光することが良く行われ、その際、当該反射鏡手段として異なる種類の金属ないし半導体の多層膜構造から成る多層膜反射鏡が用いられることがある。このような事情の下で、本発明では、発生したデブリを適当なる支持基材上への当該多層膜の各膜を堆積、作製する物質として用いることも提案する。従ってまた、固体ターゲットは互

いに材料の異なるものを複数用いる構成も提案できる。ただ、プラズマから放出される粒子は飛行速度に依っては多層膜上に堆積するのではなく、逆に多層膜を削るスパッタ作用を持つので、その作用を利用することも可能である。

【0020】

【発明の実施の形態】図1には本発明の一実施形態が示されている。固体ターゲット11には本発明に従い、適当なる幾何形状、この場合は半球状の窪み12が穿たれている。こうした形状の固体ターゲット11に対し、本発明ではまず、図1(A)に模式的に示すように、公知既存のもので良い適当なるアブレーション用レーザ源（これ自体は図示せず）からアブレーション用レーザ13を窪み12に向けて照射し、窪み12の内壁の極く表層部分のみを気化させるように図る。そのためには、当該アブレーション用レーザ13は極く短時間、強力なエネルギーを発生するパルスレーザであることが望ましく、例えば、固体ターゲット11に半径0.1mmの半球状の窪み12を穿った場合、波長1 μ m、パルス幅1ps、パルスエネルギー0.5mJ、ピークパワー500MWの極短パルスレーザ13を用いることができる。もちろん、これは一例であり、ターゲットの材料、窪みの半径ないし大きさ（容積）、アブレーションレーザの波長等によって最適値は異なり、レーザパルス幅にしても、もっと短いフェムト秒オーダーが適当なこともあるし、逆にもう少し長目のサブナノ秒程度が適当なこともある。

【0021】アブレーション用パルスレーザ13が照射されると、図1(B)に示すように、窪み12の内壁の極く表層の物質の温度が瞬時に気化温度以上になり、矢印16で模式的に示すように、当該気化した表層物質14は真空側へ膨張を開始する。ここで重要なことは、従来のプラズマ光源では本発明と異なり、そもそも本発明では当初のアブレーション過程に過ぎないこの段階ですでにX線の発生を目論んでいたことで、実際、上に例記した本発明における場合よりも大きなX線エネルギーを得るために、アブレーションの目的のためには高過ぎる強度で、かつ、10ns前後という長すぎるパルス幅のレーザ照射を行っていた。そのために、不必要に多くの物質をアブレーションさせてしまっていた。

【0022】これに対し本発明では、表面の極く表層のみを気化温度以上にし、必要最小限の物質を固体から剥ぎ取った後は、固体ターゲット11の温度を再び気化温度以下に下げる。つまり、気化物質14を加熱し、高温プラズマが生成されるようにすると、そこから輻射線（ここでは簡単のため、以下、X線で代表する）が放射されるが、固体ターゲット11の表面から気化物質14が十分離れない中にプラズマ加熱を行った場合、高温プラズマからの熱伝導により固体ターゲット11自体が再加熱されてしまい、デブリの発生源を作ってしまう。これを防ぐには、アブレーション物質14が固体ターゲット11の壁面か

ら十分な距離飛行した後に、プラズマ加熱を行う必要があるため、本発明ではそのように図っているのである。

【0023】ただ、気化物質14が従来の固体ターゲットにおけるように、平面状の固体壁からただ単に膨張したとすると、プラズマ密度は急激に低下し、ここに加熱用レーザを照射しても、そのエネルギーは殆ど吸収されない。これに対し、本発明で固体ターゲット11に窪み12を設けたことの効果が極めて有効に働く。すなわち、固体ターゲット11から剥ぎ取られた気化物質14は、窪み12内の空間にて当該窪み形状の持つ言わばレンズ効果のような効果にて、図1(B)中の矢印15で模式的に示すように空間中の特定の領域部分、この場合は当該空間の中心部に向けて移行するため、そこに高密度化部分15が形成される。もっとも、このような密度圧縮効果は、窪み12の形状が必ずしもここで想定した半球状であることには限らず、円柱状、角柱状、円錐状、角錐状、あるいはそれに近似した形状でも得られるし、また、断面形状が半円、長方形、三角形、およびそれに近似した形状を持つ直線形状でも良い。窪み12の直径の最適値も、アブレーション用パルスレーザ13及び後述の加熱用パルスレーザ17のパルス幅、パルスエネルギーにより異なるが、一般には数十 μm から1mm程度に適当な範囲がある。

【0024】本発明では次に、気化物質14が窪み12を満たし、中心付近の密度が高くなって高密度化部分15が生成するのを待って加熱を行う。換言すると、アブレーション用パルスレーザ13の照射後、適当なる遅延時間を置いて、図示しない適当なる加熱用レーザ源から加熱用パルスレーザ17の照射を行う。例えば、窪み12の幾何的パラメータやアブレーション用パルスレーザ13に関し既述した種々の条件に応ずる場合、当該アブレーション用パルスレーザ13の照射後3nsには、図1(B)で示すように、窪み12の空間の殆どが固体密度の三桁程度低い密度の低温ガス14で満たされる。このガス14は理想的にはほぼ中性であり、多くの場合は若干程度電離している。そこでこのガス14を、図1(C)に示すように、例えば波長1 μm 、パルス幅1ns、パルスエネルギー50mJ、ピークパワー50MWの加熱用パルスレーザ17で照射する。すると、窪み12内の空間中にある高密度化部分15は加熱用パルスレーザ17のエネルギーを吸収し、100eV程度的高温プラズマ18になり、波長60nm程度にスペクトルピークを持つX線19が放射される。

【0025】このように、本発明によると、固体ターゲット11の内壁から十分に離れた所で高温プラズマ18を発生させ得るので、固体ターゲット11への熱伝導損失は小さく抑えることができ、また、十分に加速膨張した後に気化物質14を加熱するので、加熱用パルスレーザ17による加熱中のプラズマ18は殆ど加速されず、プラズマ運動エネルギーへの損失も抑制でき、結局、X線への変換効率が大幅に向上する。これがもし、従来の方法によったとすると、本発明と同程度の輻射量を得るのに、おそらく

は10倍程度以上もの入力エネルギーを必要とする。

【0026】なお、加熱用パルスレーザ17による加熱で、最初は窪み12の空間中心付近の温度が上昇するが、レーザパルス幅が長すぎると、時間の経過と共に高温領域が広がって固体ターゲット11の壁面にまで達し、遂には固体ターゲット11の壁面近傍でレーザが吸収されるようになる。これにより固体ターゲット11の壁面温度が上昇するとデブリ発生が不必要に増大するため、デブリの発生の抑制のために、加熱用パルスレーザ17のパルス幅は長過ぎない方が良い。もっとも、これも窪み12の半径の如何や形状の如何によって変えるべきもので、サブナノ秒から数ナノ秒のパルス幅に適当な範囲のあることも考えられる。

【0027】また、アブレーション物質14が窪み12を満たし、中心付近の密度が高くなるのには、この実施形態では既述のように3ns程度を要するので、同じくこの実施形態では、アブレーション用パルスレーザ13の照射停止時から加熱用パルスレーザ17の照射開始までの遅延時間は3nsに設定した。しかし、これももちろん設計的要因に属する問題で、窪み半径ないし大きさ、ターゲット材料、援用レーザ13、17の各強度の如何に応じ、最適な遅延時間も異なってくる。

【0028】もっとも、本発明では半球等、窪み12の形状の如何により、アブレーション物質14の密度圧縮効果を得るとは言っても、その作用は受動的なものなので、圧縮効果にも限界がある。そこで、窪み12を満たす気化物質14の密度がそれ程大きくなくても十分な吸収が得られるようにするには、加熱用パルスレーザ17の波長は一般には長い方が好ましく、0.5 μm から上述した1 μm 程度に適当な所がある。一方、発生されるX線19の波長は、加熱されて生成される高温プラズマ18の温度に大きく左右され、より短波長のX線を発生させるにはもっと高いパワーでの加熱を行うことになる。本実施形態における照射パワーは一例に過ぎない。

【0029】図2には、本発明の他の実施形態が示されている。図1各図に即しこれまで説明して来た所はこの図2以降の実施形態についても同様に適用できる内容を含んでおり、それらについての説明は控え、各実施形態についての特徴部分についてのみ説明する。まずこの図2に示す実施形態の場合、固体ターゲット11に穿った窪み12には、固体ターゲット11の肉を貫通し、裏面に抜ける貫通孔21が設けてある。従って、本図では簡単のため、二種のレーザを併記してあるが、本発明の方法に従いアブレーション用パルスレーザ13で物質をアブレーションさせ、適当なる遅延時間後に加熱用パルスレーザ17の照射で生成した高温プラズマ18から発生するX線19の中、貫通孔21を通じて固体ターゲット11の裏面に抜けて来るX線19を利用することができる。これは、下記の点で有利である。

【0030】この種の光源では、アブレーション用パル

スレーザ13および加熱用パルスレーザ17は、図示していないが適当なるレンズ等を用いて集光照射する。そのため、高温プラズマ18から発生するX線19をレーザ照射側と同じ側から取り出そうとすると、X線を利用する角度が大きく制限される。これに対し、図2に示す実施形態におけるように、固体ターゲット11に設けた貫通孔21を抜けて裏面側に出力されてくるX線19を利用するならば、物的なレーザ照射系の存在に制限されないX線利用が可能になる。また、発生するデブリは主として表側に運動するので、その反対側からX線を取り出し得ることは、より一層のデブリ軽減化に繋がる。

【0031】もちろん、貫通孔21を設ける位置は任意である。図示の場合、半球状の窪み12の最深点から貫通孔21が裏面に抜けているが、必ずしも窪み12の中心に貫通孔21が開口している必要はなく、さらには固体ターゲット11の側面に抜ける貫通孔が設けられていても良い。貫通孔21の数も任意である。

【0032】図3は、少し視点を変えた本発明の他の実施形態を示している。固体ターゲット11には複数の窪み12が穿たれており、この場合には適当なる曲率の円弧に沿ってこれ等複数個の窪み12が整列している。このような固体ターゲット11を用いると、一つ一つの窪み12に対し、アブレーション用パルスレーザ13と加熱用パルスレーザ17とを一ショットごと、あるいは複数ショットごとに順番に偏向、照射して目的のX線を発生させることができる。つまり、複数の窪み12の配置を円弧状にすることで、縮小リソグラフィにおいて収差の小さい照明に求められるリング照明が可能になる。もっとも、窪み12は飛び飛びに穿たれ、また、X線を発生するのは各々の窪み12の中心付近のみであるので、厳密にはX線の強度分布は円弧に沿って一様とはならない。しかし、ターゲット全体を円弧に沿うように連続的に回転させることで、円弧に沿って一様な強度分布のX線強度を得ることができる。もちろん、連続的なX線強度分布を得る方法は、窪みの配置が図示のように円弧状である場合だけでなく、直線や任意の形状の曲線状に配置した場合にも適用できる。

【0033】以上は、主に本発明による固体ターゲット11に対する構造的改良と、アブレーション、加熱処理手順に関する改良につき述べたが、本発明ではまた、さらに異なる観点からの発明も開示する。すなわち、デブリそのものも使い方によっては有効利用できる、と言う発想を提示する。例えば、先にも述べたように、この種の光源からの放射線は一般に多層膜反射鏡等の光学系を介し、利用に供される。そして、例えばX線多層膜鏡は、軽元素（例えばSi）から成る層と重い元素（例えばMo）から成る層を規則的に多数、交互に積層して構成されることが多い。

【0034】そこで、こうした多層膜で用いられる二種の材料から成る二つの固体ターゲット11を用意し、一定

のショット数ごと、あるいは所定時間ごとにこれら二種類の（例えばSiとMoの）ターゲットを交換することで、アブレーション物質そのものを用いてターゲット近傍においた適当なる支持基材（図示せず）上に多層膜を堆積、形成させることができる。また、必ずしも複数種類の材料を用いずとも、例えばプラズマ光源のターゲット材料としてはMoを用い、一定のショット後ないし所定の時間後にMoが堆積された多層膜反射鏡を取り出し、別のスパッタ装置でSiをコートし、再びプラズマ光源の集光鏡として用いる、ということを繰り返す手法を採ることもできる。

【0035】さらに、プラズマから放出される粒子は飛行速度に依っては多層膜上に堆積するのでなく、逆に多層膜を削るスパッタ作用を持つ。従ってこのような条件下では、用いた多層膜の反射率は殆ど変化することなく、多層膜の層数が徐々に減少していく。この場合には、層数が減少しすぎて反射率の低下に至る前に、反射鏡を取り出し、多層膜の層数の積み増しを行えばよい。

【0036】いずれにしても、このような方法により、デブリ問題は完全に解決され、むしろ有効利用すら可能となる。なお、ターゲット材料については、上述のMo、Siに限らず、W、Cその他、おおよそこの種の方野で用い得る材料ならば何でも良いし、種類数も二種類以上、もっと多くの種類を用いることもできる。また、固体ターゲット11に窪み12を設けるには、それがある程度以上に大きな場合、例えば半球状の窪みで言えば直径が500 μ m以上に及ぶような場合には、一般に機械加工によるのが適当である。これに対し、同じ半球状でも、直径が比較的小さな場合、特に100 μ m以下で良いような場合には、レーザ加工による加工が可能である。そして、後者の場合には、別途に加工専用のエネルギーレーザビームを用いても良いが、本発明にて用いるアブレーション用レーザや加熱用レーザを要すればパルス幅等を調整し、加工用レーザとしても援用することができる。

【0037】

【発明の効果】本発明によると、放射線を得るべきプラズマ光源として、唯一、デブリ発生で問題のあった固体ターゲット方式に福音を与え、他の方式に比しても大いに優れた固体ターゲット方式のプラズマ光源を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の説明図である。

【図2】本発明の他の実施形態の説明図である。

【図3】本発明のさらに他の実施形態における固体ターゲットの平面図である。

【符号の説明】

- 11 固体ターゲット、
- 12 窪み、
- 13 アブレーション用パルスレーザ、
- 14 気化物質、

- 15 高密度化部分.
- 17 加熱用パルスレーザ.
- 18 高温プラズマ.
- 19 放射線.
- 21 貫通孔.

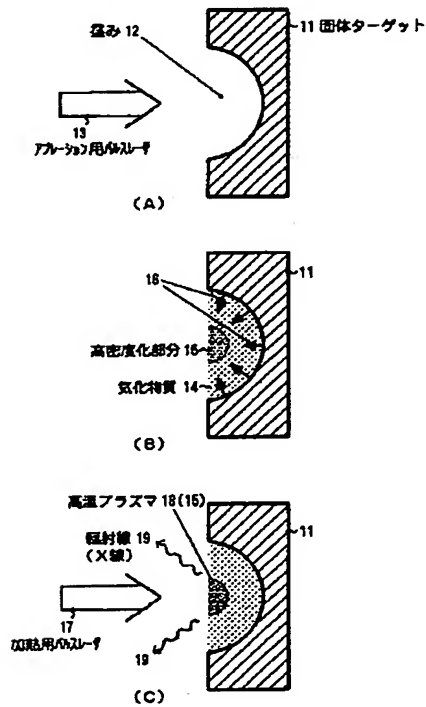
【要約】

【目的】 固体ターゲットを用い、デブリの少ない、変

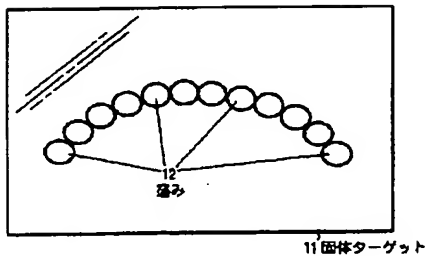
換効率の高いレーザプラズマ光源を得る。

【構成】 固体ターゲット11に窪み12を設ける。窪みの内壁をアブレーション用パルスレーザ13によりアブレーションする。窪み12内の空間中にて気化物質14の高密度化部分15ができるのを待って加熱用パルスレーザ17を照射し、当該高密度化部分15を高温プラズマ18とし、放射線19の発生を図る。

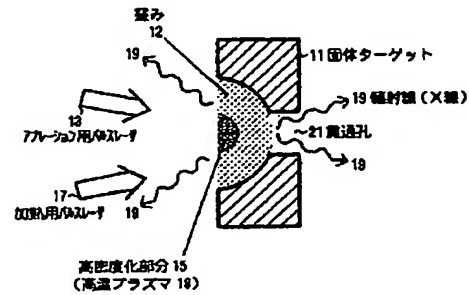
【図1】



【図3】



【図2】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int. Cl. 6, DB名)

H01J 35/00

H05G 1/00